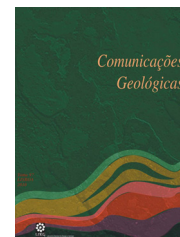


Estudo da variação de propriedades de sedimentos com objetivos forenses

Study of variation of sediment properties with forensic objectives

C. Ribeiro¹, A. Guedes^{1,2*}, B. Valentim^{1,2}, H. Sant'Ovaia^{1,2}, H. Ribeiro¹, F. Noronha^{1,2}



Artigo Curto
Short Article

© 2014 LNEG – Laboratório Nacional de Geologia e Energia IP

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo avaliar a variação temporal de algumas das propriedades dos sedimentos. Para tal foram seleccionados, para amostragem, dois locais da zona costeira do norte de Portugal, a Reserva Ornitológica do Mindelo e Reserva Natural Local do Estuário do Douro (Cabedelo), e colhidas amostras em diferentes épocas do ano. Para caracterização das amostras foram realizadas análises granulométricas, espectrofotométricas e de suscetibilidade magnética.

Relativamente à variação sazonal verificou-se que a distribuição granulométrica, a cor e a suscetibilidade magnética dos sedimentos não variaram no Mindelo mas, comparativamente, variaram no Cabedelo. Não será alheio a este facto a maior heterogeneidade local que o Cabedelo apresenta por fazer parte de uma restinga fortemente exposta à ação do rio, do mar e do Homem. Os sedimentos do Mindelo constituem um cordão dunar quase só exposto à ação do vento e da chuva.

A importância deste trabalho resulta do facto de este constituir o ponto de partida para estudos posteriores sobre a variação temporal de diferentes propriedades dos sedimentos e solos e sua relação com o ambiente envolvente, que permitirão estabelecer o valor probatório destes materiais nas investigações forenses.

Palavras-chave: Geologia forense, Propriedades, Sedimentos.

Abstract: The present work aimed to assess the temporal variations of sediment properties from the Reserva Ornitológica do Mindelo and the Reserva Natural Local do Estuário do Douro (Cabedelo). Quarterly, over one year, sediment samples were collected, and characterized according to particle size, spectrophotometry and magnetic susceptibility analyses.

Considering the temporal variation during the period considered, particle size distribution, colour and magnetic susceptibility did not greatly varied at Mindelo but were comparatively more variable at Cabedelo.

The importance of this work results from the fact that it constitutes the starting point for subsequent studies about the temporal variation of different properties of sediments and soils and its relation with the surrounding environment, which will establish the evidential value of these materials in forensic investigation.

Keywords: Forensic geology, Properties, Sediments.

1. Introdução

Um aspecto importante numa investigação forense relacionada com solos e sedimentos é o estudo das diferentes propriedades das amostras que estão a ser investigadas e verificar se estas permitem distingui-las aumentando assim o seu valor probatório. Para tal, muitos métodos analíticos têm vindo a ser testados e aplicados na caracterização das diferentes propriedades dos solos e dos sedimentos com objectivos forenses, encontrando-se uma compilação deles em Pye (2007), Morgan & Bull (2007), Dawson & Hillier (2010).

A análise dimensional dos sedimentos através do estudo dos seus parâmetros estatísticos pode proporcionar pistas importantes sobre a sua proveniência, historial do transporte e condições de deposição, sendo por isso muito útil na investigação forense.

Contudo, a variação temporal das propriedades dos solos e sedimentos não tem sido avaliada. Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a variação temporal de algumas das propriedades dos sedimentos em dois locais da zona costeira do Norte de Portugal com dinâmicas ambientais e erosivas distintas: na Reserva Ornitológica do Mindelo e na Reserva Natural Local do Estuário do Douro.

Para tal, foram colhidas amostras nos dois locais, em diferentes épocas do ano, tendo sido utilizadas na sua caracterização análises granulométricas, de espectrofotometria e de suscetibilidade magnética.

2. Material e métodos

2.1. Recolha e tratamento das amostras

Durante este estudo, foram colhidas, de três em três meses, 24 amostras de sedimentos em dois locais da zona costeira do Norte de Portugal: na Reserva Ornitológica do Mindelo e no Cabedelo do rio Douro (Fig. 1). Em cada local estabeleceu-se uma malha de amostragem triangular e doze amostras foram colhidas em cada local [Amostras do Mindelo: F130A-C (colhidas em 26-11-2008), F164A-C (colhidas em 26-02-2009), F167AC (colhidas em 13-06-2009), e F169A-C (colhidas em 30-08-2009); Amostras do Cabedelo: F141A-C

¹Centro de Geologia da Universidade do Porto.

²Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto.

*Autor correspondente / Corresponding author: aguedes@fc.up.pt

(colhidas em 14-01-2009, F166A-C (colhidas em 01-05-2009; F168A-C (colhidas em 02-09-2009, e F170A-C (colhidas em 08-01-2010) com uma pá de plástico a partir da superfície, tal como descrito em Pye (2007).

As amostras colhidas foram secas em estufa a 40°C e divididas em duas subamostras para reserva e análise.

2.2. Análises granulométricas

Inicialmente as subamostras foram pesadas e posteriormente crivadas mecanicamente, a seco, durante 15 minutos.

Obtiveram-se, assim, 7 frações granulométricas: >2mm; [2mm-1mm], [1mm-0,5mm], [0,5mm-0,25mm], [0,25mm-0,125mm]; [0,125mm-0,063mm] e <0,063mm.

Nesta operação utilizou-se um aparelho “FRITSCH analysette 3 SPARTAN pulverisette 0” e peneiros da marca Retsch®. Entre cada atividade de crivagem, os crivos foram devidamente limpos.

As atividades de pesagem, que antecederam e procederam a peneiração, foram efetuadas numa balança “KERN PLB 1000-2” com precisão de 0,01 g.

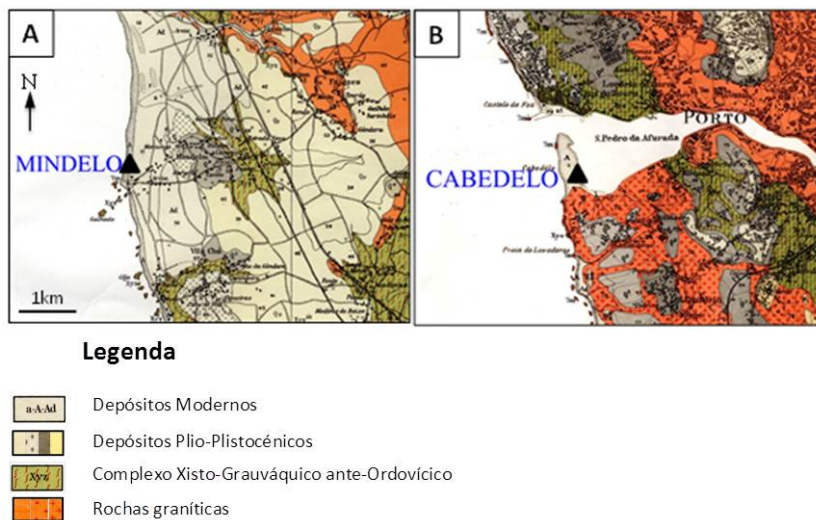


Fig. 1. Localização das amostras estudadas. A: Reserva Omnitológica do Mindelo (folha nº 9-A, Póvoa de Varzim); B: Reserva Natural Local do Estuário do Douro (folha nº 9-C, Porto). Carta Geológica de Portugal, 1:50.000.

Fig. 1. Location of the studied samples. A: Reserva Omnitológica do Mindelo (sheet nº 9-A, Póvoa de Varzim); B: Reserva Natural Local do Estuário do Douro (sheet 9-C, Porto). Carta Geológica de Portugal, 1:50.000.

2.3. Análises espectrofotométricas

A cor é uma propriedade característica dos solos/sedimentos. Na determinação da cor, como característica que define o material que se está a analisar, é necessário considerar uma variedade de fatores que podem afetar a sua perceção. Estes incluem as fontes de luz, a direção do ângulo de visão, efeitos de fundo e de contraste, tamanho do grão, compactação e a natureza cristalina do material considerado, assim como o teor de humidade e a temperatura (Johnston, 1967; Thornton, 1997).

Atualmente existe um método instrumental (espectrofotómetro) preciso e objetivo para a medição da cor que utiliza, entre outros, os parâmetros $L^*a^*b^*$. Este tem inúmeras vantagens relativamente aos métodos tradicionais: necessita apenas de uma pequena amostra, é uma técnica não destrutiva, possui grande rapidez analítica, portabilidade, precisão e reprodutibilidade de análise (Croft & Pye, 2004). Croft & Pye (2004) sugerem que a cor deve ser medida na amostra total e numa fração de tamanho específico de acordo com a natureza do solo e Guedes *et al.* (2009) demonstraram que os valores das

medidas $L^*a^*b^*$ em amostras de sedimentos tal e qual, secas, permitiram maior discriminação do que as medidas executadas com outros métodos de pré-tratamento.

Na análise de cor foi utilizado um espectrofotómetro “Konica Minolta CM-2600d” que foi programado com as seguintes definições: área de medição de 0,8 mm de diâmetro, com componente especular, Iluminante D65, e ajuste para efetuar três medições sequenciais, sendo o valor obtido a média dessas medições.

Antes da medição, cada amostra foi homogeneizada, o espectrofotómetro foi calibrado de acordo com as instruções do fabricante e calibrado regularmente ao longo do período de medição. A calibração negativa foi realizada direcionando o aparelho de medição para uma zona em que não haja nada à volta numa extensão de dois metros, enquanto a calibração positiva foi realizada utilizando uma placa constituída por sulfato de bário.

Os parâmetros de cor obtidos correspondem ao sistema CIELAB e foram directamente calculados recorrendo ao *software SpectraMagic NX*.

A medição da cor foi efetuada na amostra total e em todas as frações adquiridas no decurso da análise

granulométrica descrita. As amostras foram colocadas numa caixa de Petri e foram efetuadas oito a dez medições na amostra total e nas restantes frações granulométricas cinco a oito medições dos parâmetros $L^*a^*b^*$.

2.4. Análises de suscetibilidade magnética

Os parâmetros magnéticos, tais como a suscetibilidade magnética (SM), têm vindo a ser utilizados na caracterização de materiais, nomeadamente dos minerais, uma vez que quantidades detetáveis de minerais magnéticos são frequentemente encontradas nos solos e sedimentos. Assim, a suscetibilidade magnética de um solo ou de um sedimento resulta do tipo de minerais presentes e varia de acordo com a sua concentração e composição sendo fortemente influenciada pelos minerais ferromagnéticos, os quais apresentam SM mais elevada que os minerais paramagnéticos ou diamagnéticos (e.g. Dekkers, 1997; Maher & Thompson, 1999; Evans & Heller, 2003).

Relativamente às vantagens da SM em aplicações forenses, verifica-se que a principal vantagem forense das medições de SM nos solos resulta do fato de estas poderem ser efetuadas à temperatura ambiente, não são destrutivas, podendo o mesmo material ser utilizado noutro tipo de análises. Adicionalmente, a técnica não exige preparação da amostra, é expedita e apenas requer pequenas quantidades de material. Assim, a SM parece ser uma ferramenta excelente para a análise de solos utilizados como provas na investigação forense (Guedes *et al.*, 2013).

A susceptibilidade magnética foi medida aplicando a cada amostra um campo magnético externo de 300 A/m, tendo sido utilizada na análise uma balança Kappabridge, modelo KLY-4S da AGICO equipada com o *software* Sumean. Foram realizadas 5 a 12 medidas na amostra total e em 1g de cada fracção granulométrica após a homogeneização, sendo calculada a susceptibilidade magnética em m^3/kg . O equipamento foi calibrado antes da medição e regularmente ao longo do período de medição.

3. Resultados e discussão

A distribuição granulométrica obtida nas diferentes amostras colhidas no Mindelo em diferentes épocas do ano não apresenta uma variação significativa. No entanto, no Cabedelo, essa distribuição apresenta uma variação maior (Fig. 2), devido à forte influência do mar e do rio sobre essa área.

O estudo da variação da cor (parâmetros L^* , a^* e b^*)

ao longo do tempo no Mindelo (Fig. 3), com exceção dos valores obtidos na amostra total e nas frações mais grosseiras ($>2mm$ e $2mm-1mm$) onde ocorre alguma variação, revelou que os restantes valores são muito semelhantes para a mesma fração granulométrica, indicando que a cor não variou no período de tempo considerado. No Cabedelo (Fig. 4), apesar da coordenada cromática a^* apresentar uma pequena variação (exceto na fração $>2mm$), o parâmetro L^* e a coordenada cromática b^* variaram mais no período de tempo considerado.

Finalmente, a variação dos valores médios de suscetibilidade magnética para as amostras do Mindelo, no período de tempo considerado, é pequena nas frações granulométricas “intermédias” (F3 $1mm-0,5mm$; F4 $0,5mm-0,25mm$ e F5 $0,25mm-0,125mm$) e mais elevada nas restantes, e somente nas granulometrias “intermédias” é que esta propriedade das amostras não variou no tempo (Fig. 5). Já no caso do Cabedelo a variação dos valores médios de SM, exceto na fração mais grosseira, é superior à do Mindelo, acentuando-se essa tendência no sentido das frações finas (Fig. 5).

A variação das diferentes propriedades observada nos sedimentos do Cabedelo resulta de este fazer parte de uma restinga fortemente exposta à ação do rio, do mar e do Homem, enquanto os sedimentos do Mindelo constituem um cordão dunar quase só exposto à ação do vento e da chuva.

4. Conclusões

O estudo da variação da granulometria, cor e suscetibilidade magnética revelou diferenças nos dois casos estudados:

- a distribuição granulométrica variou mais no Cabedelo do que no Mindelo onde, aliás, a variação quase não teve significado;
- a cor, quantificada através dos parâmetros $L^*a^*b^*$, não variou no Mindelo mas, variou no caso do Cabedelo;
- a suscetibilidade magnética, medida na generalidade das frações granulométricas, apresenta pequenas diferenças no decorrer do ano no caso do Mindelo mas, no caso do Cabedelo (com exceção da fração mais grosseira), a sua variação é superior.

A importância deste trabalho resulta do facto de este constituir o ponto de partida para estudos posteriores sobre a variação temporal de diferentes propriedades dos sedimentos, que permitirão estabelecer o valor probatório destes materiais nas investigações forenses.

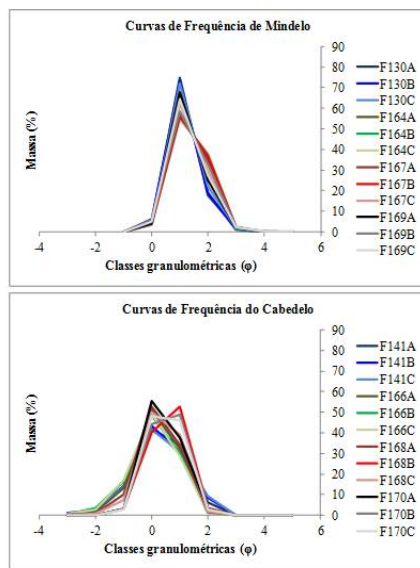


Fig. 2. Variação das curvas de distribuição granulométrica na malha de amostragem. (A) Amostras do Mindelo: F130A-C; F164A-C; F167A-C; e F169A-C; (B) Amostras do Cabedelo: F141A-C; F166A-C; F168A-C; e F170A-C.

Fig. 2. Variation of particle size distribution curves. (A) Mindelo samples: F130A-C; F164A-C; F167A-C; and F169A-C. (B) Cabedelo samples: F141A-C; F166A-C; F168A-C; and F170A-C.

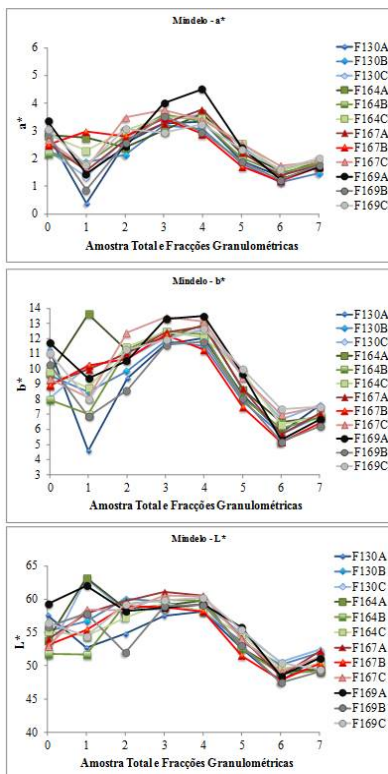


Fig. 3. Variação dos parâmetros $L^*a^*b^*$ nas amostras do Mindelo (0: amostra total, 1: >2mm, 2: [2mm-1mm], 3: [1mm-0,5mm], 4: [0,5mm-0,25mm], 5: [0,25mm-0,125mm], 6: [0,125mm-0,063mm] e 7: <0,063mm).

Fig. 3. Variation of the parameters $L^*a^*b^*$ in the samples of Mindelo (0: bulk sample, 1: >2mm, 2: [2mm-1mm], 3: [1mm-0.5mm], 4: [0.5mm-0.25mm], 5: [0.25mm-0.125mm], 6: [0.125mm-0.063mm] and 7: <0.063mm).

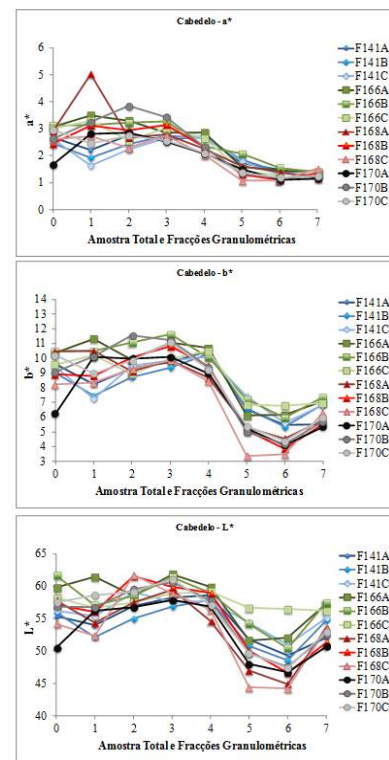


Fig. 4. Variação dos parâmetros $L^*a^*b^*$ nas amostras do Cabedelo (0 - amostra total, 1 - >2mm, 2 - [2mm-1mm], 3 - [1mm-0,5mm], 4 - [0,5mm-0,25mm], 5 - [0,25mm-0,125mm], 6 - [0,125mm-0,063mm] e 7 - <0,063mm).

Fig. 4. Variation of the parameters $L^*a^*b^*$ in the samples of Cabedelo (0 - bulk sample, 1 - >2mm, 2 - [2mm-1mm], 3 - [1mm-0.5mm], 4 - [0.5mm-0.25mm], 5 - [0.25mm-0.125mm], 6 - [0.125mm-0.063mm] and 7 - <0.063mm).

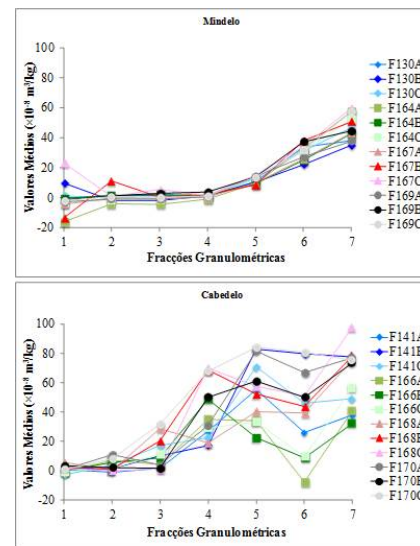


Fig. 5. Variação dos valores médios da susceptibilidade magnética no Mindelo e no Cabedelo (1: >2mm, 2: [2mm-1mm], 3: [1mm-0,5mm], 4: [0,5mm-0,25mm], 5: [0,25mm-0,125mm], 6: [0,125mm-0,063mm] e 7: <0,063mm) (valores em $\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$).

Fig. 5. Variation of the average values of magnetic susceptibility in Mindelo and Cabedelo areas (1: >2mm, 2: [2mm-1mm], 3: [1mm-0.5mm], 4: [0.5mm-0.25mm], 5: [0.25mm-0.125mm], 6: [0.125mm-0.063mm] and 7: <0.063mm) (values in $\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$).

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo projeto PTDC/CTE-GEX/67442/2006 da FCT, pelo FEDER, através do Programa COMPETE e pelo projeto PEst OE/CTE/UI0039/2014.

Referências

- Carta Geológica de Portugal, 1957. *Folha 9-C, Porto na escala de 1:50.000*. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.
- Carta Geológica de Portugal, 1965. *Folha 9-A, Póvoa de Varzim na escala de 1:50.000*. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.
- Croft, D.J., Pye, K., 2004. Colour theory and the evaluation of an instrumental method of measurement using geological samples for forensic applications. In: K. Pye, D.J. Croft, (Eds). *Forensic Geoscience: Principles, techniques and applications*. Geological Society Special Publications, London, **232**, 49-62.
- Dawson, L.A., Hillier, S., 2010. Measurement of soil characteristics for forensic applications. *Surface and Interface Analysis*, **42(5)**, 363-377.
- Dekkers, M.J. 1997. Environmental magnetism. *Geologie en Mijnbouw*, **76**, 163-182.
- Evans, M.E., Heller, F., 2003. *Environmental magnetism. principles and applications of enviromagnetics*. Academic Press, Elsevier. 299 p.
- Guedes, A., Murray, R.C., Ribeiro, H., Sant'Ovaia, H., Valentim, B., Rodrigues, A., Leal, S., Noronha, F., 2013. The potential application of magnetic susceptibility as a technique for soil forensic examinations. In: D. Pirrie, A. Ruffell, L.A. Dawson, (Eds). *Environmental and Criminal Geoforensics*. Geological Society Special Publications, London, **384**, 65-73.
- Guedes, A., Ribeiro, H., Valentim, B., Noronha, F., 2009. Quantitative colour analysis of beach and dune sediments for forensic applications: A Portuguese example. *Forensic Science International*, **190(1-3)**, 42-51.
- Johnston, R.M., 1967. Spectrophotometry for the analysis and description of colour. *Journal of Paint Technology*, **39**, 346-354.
- Maher, B.A., Thompson, R., 1999. *Quaternary, Climates, Environments and Magnetism*. Cambridge University Press, 390 p.
- Morgan, R.M., Bull, P.A., 2007. The philosophy, nature and practice of forensic sediment analysis. *Progress in Physical Geography*, **31(1)**, 43-58.
- Pye, K., 2007. *Geological and soil evidence: Forensic applications*. CRC, Boca Raton, London, 335 p.
- Thornton, J.I., 1997. Visual colour comparisons in forensic science. *Forensic Science Review*, **9**, 37-57.